

Влияние потенциала смещения на подложке на структуру тонких пленок ниобата бария-стронция, полученных ВЧ-катодным распылением

Я.Ю. Матяш, А.В. Павленко, Д.В. Стрюков, С.П. Зинченко, А.В. Назаренко

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
344006 Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: matyash.ya.yu@gmail.com

Наноразмерные пленки нелинейных диэлектриков (пиро- и сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики и мультиферроики) в связи с развитием методов их синтеза находят все большее применение в устройствах функциональной микроэлектроники различного рода [1, 2]. Газоразрядные способы напыления и ВЧ-катодное напыление в частности успешно зарекомендовали себя при изготовлении наноразмерных пленок сложных оксидов. В таких системах нейтральные и ионизованные продукты распыления от катода-мишени транспортируются к подложке, где и происходит синтез пленочной структуры [3]. В результате на электрически изолированной подложке возникает так называемый потенциал автосмещения, который, зачастую, отрицателен и его величина является результатом установившегося равновесия тока положительно заряженных ионов и тока отрицательно заряженных ионов и электронов и имеет тенденцию следовать изменениям потенциала плазмы около изолированной подложки. Наличие потенциала смещения подложки может влиять на процессы в плазме, и как следствие на результаты напыления. Кроме того, варьирование потенциала подложки не оказывает существенного влияния на технологические параметры разряда, что делает его приемлемым механизмом управления процессами в плазме разряда и, как следствие - результатами напыления. Следует также отметить, что метод ВЧ-катодного реактивного распыления является строго одностадийным, это позволяет сохранять полевое воздействие в ходе всего времени напыления. В данной работе представлены результаты исследования влияния дипольного внешнего электрического полевого воздействия на условия синтеза, фазовый состав, кристаллическую структуру и микроструктуру тонких пленок ниобата бария-стронция состава $\text{Sr}_{0.50}\text{Ba}_{0.50}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN50) в процессе их напыления в ВЧ газоразрядной плазме при катодном распылении мишени.

Газоразрядное ВЧ-напыление пленок SBN50 в течении 60 минут производилось на установке «Плазма-50-СЭ». В ходе напыления смещающая разность потенциалов прикладывалась к корпусу камеры напыления (масса) и к изолированному металлическому электроду, на котором размещалась подложка. В таком варианте прикладываемое электрическое поле локализовалось в зоне отрицательного свечения разряда, где проходит формирование кластерного облака для последующей его кристаллизации на подложке [1]. Синтезированы 3 гетероструктуры: при отсутствии смещающего поля $U = 0$ В (SBN_0), при положительном $U = +150$ В (SBN_{+150}) и отрицательном $U = -150$ В (SBN_{-150}). Для исследования влияния потенциала смещения на скорость роста пленок применялся текущий интерференционный контроль толщины пленок на подложке. В качестве измеряемого использовалась зависимость интенсивности отраженного от объекта лазерного излучения ТН-поляризации от времени напыления. Полученные зависимости (Рис. 1) имеют осциллирующий характер, что обусловлено интерференционными процессами. Анализ этих данных показал, что рост пленок происходит в процессе синтеза непрерывно, при этом скорость их роста, составила 3.9, 5.3 и 6.9 нм/мин, для потенциалов +150, 0 и -150 В соответственно. Анализ спектров оптического пропускания, полученных пленок в диапазоне длин волн 400-1000 нм, подтвердил полученные результаты. Таким образом, наличие смещающего напряжения, в зависимости от его полярности, приводит либо к увеличению потока структурообразующих элементов к подложке, либо к снижению, и как следствие – изменению скорости роста.

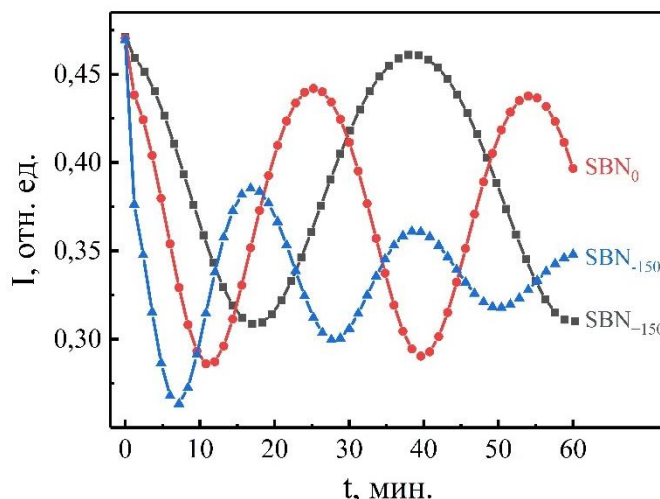


Рисунок 1. Зависимости интенсивностей отраженного зондирующего излучения от времени для пленок SBN50/MgO(001), выращенных при различных значениях потенциала смещения.

Результаты рентгенодифракционного анализа пленок показали эпитаксиальный рост всех пленок с формированием двух типов ориентационных доменов, кристаллографические оси которых повернуты относительно осей подложки на $\pm 18.4^\circ$, аналогично работам [4, 5]. Установлено, что в плёнках приложении внешнего полевого воздействия во время напыления приводит к небольшой разнице в параметрах элементарных ячеек (параметры элементарных ячеек $c = 3.962 \text{ \AA}$, $a = 12.44 \text{ \AA}$ для SBN_{+150} ; $c = 3.960 \text{ \AA}$, $a = 12.44 \text{ \AA}$ для SBN_0 ; $c = 3.959 \text{ \AA}$, $a = 12.46 \text{ \AA}$ для SBN_{-150}), что указывает на небольшое изменение деформации элементарной ячейки. При этом деформация элементарной ячейки относительно параметров объемного материала достигает значений 0.56% в направлении нормали к плоскости подложки и -0.26% в плоскости сопряжения. То есть в плоскости сопряжения присутствуют деформации сжатия, а в направлении нормали – растяжения.

По результатам электронно-микроскопических исследований поверхность пленок была достаточно гладкой, включений примесных фаз, макропор и иных дефектных включений не наблюдалось, что коррелирует с данными рентгенодифракционного анализа и свидетельствует о достаточно высоком качестве полученных гетероструктур. Признаком наличия блочной структуры, сформированной выявленными ориентационными доменами, не обнаружено. При приложении отрицательного потенциала рельефность поверхности пленок снижается, в то время как положительного – возрастает. Анализ химического состава пленок по металлическим компонентам показал, что в рамках погрешности эксперимента элементный состав пленок не изменяется, что соответствует [5].

Работа выполнена в рамках государственного задания ЮНЦ РАН (тема № госрегистрации 01201354247), а также при поддержке гранта Президента РФ № МК-678.2020.2.

1. В.М. Мухортов, Ю.И. Юзюк *Гетероструктуры на основе наноразмерных сегнетоэлектрических пленок: получение, свойства и применение*. (ЮНЦ РАН), 224 (2008).
2. D. Sando, Y. Yang, C. Paillard, B. Dkhil, L. Bellaiche, V. Nagarajan, *Appl. Phys. Rev.* **5**, 041108 (2018).
3. В.М. Мухортов, Ю.И. Головкин, Г.Н. Толмачёв, А.И. Мащенко, *ЖТФ* **69**:12, 87 (1999).
4. Г.Н. Толмачев, А.П. Ковтун, И.Н. Захарченко, И.М. Алиев, А.В. Павленко, Л.А. Резниченко, И.А. Вербенко, *ФТТ* **57**:10, 888 (2015).
5. А.В. Павленко, И.Н. Захарченко, Ю.А. Кудрявцев, Л.И. Киселева, С.Х. Алихаджиев, *Неорганические материалы*. **56**:11, 1252 (2020).